

坡地開發與地表逕流及沖蝕之關係探討

何智武*

臺灣地區地小人多，且平地所佔面積尚不及三分之一，土地資源又十分有限，加以近年來由於人口激增，經濟及工商業蓬勃發展，因而社會型態有極顯著之改變，即人口大量湧入都市，造成市區範圍之不斷擴充。惟以目前之土地資源利用情況而論，平地之開發已呈飽和狀態，為適應當前社會環境之需要，山坡地之開發與利用，乃屬不可避免之必然現象。

惟坡地開發之後，原有之地形或地貌，必然產生相當程度之變化；或換言之，原有地表之自然平衡遭受破壞，因而集流時間縮短，逕流增大而且集中，以致發生土壤之嚴重流失現象，對下游地區造成莫大之災害。此外，又因開發而破壞原有之水脈，促使水資源之日益缺乏；且由於管理法令之缺乏，以及業者之無知與罔顧商業道德而更增加其嚴重性。

山坡地均處於集水區之中、上游，盲目開發所造成之災害，絕大部分均由人口密集之下游地區承受，因而生命及財產之損失，益發慘重。民國六十九年夏季，臺北地區嚴重缺水，七十年卻一雨成災，此等現象，由表面上觀之，似屬純粹排水與防洪問題，實則山坡地之開發方為真正之禍首。民國七十一年八月十一日，因西仕颱風過境所造成之豪雨，使林口、泰山及五股地區發生嚴重之災情，大量之泥砂隨洪流而下，形成一股土石流，不但使財產蒙受嚴重損失，且造成十九人活埋之慘劇。高速公路林口—泰山段亦因泥砂上路而迫使交通中斷，是乃高速公路自通車八年來第一次所遭遇者。此次災害，根據有關當局之分析與推斷，與林口工業區之開發不無關係。從以上各種現象顯示，災害之形成，與因開發而增加之逕流以及土石之大量流失有密切之關係。

森林集水區經營試驗，乃為研究土地開發利用之後產生水文現象變化之重要依據。根據國內外之集水區經營試驗資料顯示〔1〕^{**}，集水區內之林木經砍伐之後，其年逕流量、季節逕流量及月逕流量等均有顯著增加之趨勢。由此可知，改變坡地地表狀況之後，將使總逕流量及尖峯流量等產生顯著之變化。如原為林地之坡地，經開發利用之後，將使集水區內之尖峯流量增加。根據日本東京大學教授山口伊佐夫之研究〔2〕，在各種不同開發狀況下之逕流係數值如下列表一所示。又臺灣大學陳信雄教授亦曾以大約200公頃集水面積之山坡地為實驗對象，探討開發度與逕流之關係。即設開發前之森林面積為100%，而後分別以10%，15%，20%及30%之開發比例，以機率年為二十五年之降雨模擬推算，並比較開發前後之洪峯流量，洪峯到達時間及枯水期間之流量，藉以評估山坡地開發之影響，其結果分別如下列表一、二、三及四所示。

〔表一〕各種開發狀況下之逕流係數值

地表狀況	都市地區	住宅地區	鋪裝道路	運動公園	公園草地	森林地
逕流係數	0.90	0.70	0.85	0.55	0.45	0.35
	}	}	}	}	}	}
	0.95	0.80	0.98	0.65	0.55	0.40

*國立中興大學水土保持研究所教授

**括弧內之號碼代表文末所列參考文獻之編號

〔表二〕 洪峯流量指數（設開發前指數為1）

開發比例	10 %	15 %	20 %	30 %
指數	1	1.2	2	3.3

〔表三〕 洪峯到達時間（開發前為110分鐘）

開發比例	10 %	15 %	20 %	30 %
提早時間（分）	10	30	45	60

〔表四〕 枯水期間之流量指數（以開發前之指數為1）

開發比例	10 %	15 %	20 %	30 %
指數	0.8	0.6	0.5	0.4

根據以上結果獲知，當開發面積比例（即開發度）為30 %時，其洪峯流量增大為開發前之3.3倍，洪峯到達時間大約縮短為開發前之一半，而枯水期間之流量則反而減低為開發前之0.4倍。由此可知，坡地開發在洪水災害及水資源利用上扮演相當重要之角色。

此外，筆者與同仁段錦浩副教授，在農發會補助之下，於本校中興大學新化林場設置四個面積約為半公頃之小試驗區，進行山坡地開發之模擬試驗研究〔3〕，其目的在於探討坡地開發與逕流及沖蝕之相關性。研究所得之初步結果如下列表五、六、七所示〔4〕，〔5〕：

〔表五〕 開發度與逕流係數 C_R 之關係

開發度（%）		0	8	15	30
未 保 育	平均逕流係數	0.27	0.40	0.51	0.76
	倍數	1	1.5	2	3
植 生 保 育	平均逕流係數	0.26	—	0.35	0.44
	倍數	1	—	1.35	1.69
	原開發度之倍數	0.96	—	0.69	0.58

〔表六〕 開發度與洪峯逕流係數 C_F 之關係

開發度（%）		0	8	15	30
未 保 育	平均洪峯逕流係數	0.60	0.65	0.68	0.77
	倍數	1	1.08	1.13	1.28
植 生 保 育	平均洪峯逕流係數	0.39	—	0.54	0.70
	倍數	1	—	1.38	1.79
	原開發度之倍數	0.65	—	0.79	0.91

〔表七〕 開發度與土壤流失量之關係

開發度(%)	0	8	15	30
土壤流失量(噸/公頃)	4.81	—	20.42	43.98
倍數	1	—	4.2	9

〔註〕：保育後之土壤流失量略為減少，但變化情況不甚穩定。

表五及表六中，逕流係數 C_R 及尖峯逕流係數 C_P 之定義為：

$$C_R = \frac{\text{(一次暴雨之總逕流量)}}{\text{(一次暴雨之總降雨量)}}$$

$$C_P = \frac{\text{(洪峯流量)}}{\text{(逕流通過時間內之平均降雨強度)} \times \text{(流域面積)}}$$

試驗分析之結果，若以複迴歸式表之則分別為：

$$\text{保育前：} C_R = 0.162 + 1.05 \times 10^{-2} X + 1.2 \times 10^{-3} P + 9.42 \times 10^{-5} XP, (r=0.79)$$

$$\text{保育後：} C_R = 14.79 P^{0.714} (100 - X)^{-1.61}, (r=0.66)$$

$$\text{保育前：} C_P = 0.443 + 1.9 \times 10^{-3} P + 6.5 \times 10^{-3} X, (r=0.48)$$

$$\text{保育後：} C_P = 0.198 + 1.72 \times 10^{-3} P + 1.05 \times 10^{-2} X, (r=0.78)$$

$$\text{保育前：} Y = 1.26 \times 10^{11} P^{0.75} (100 - X)^{-5.98}, (r=0.84)$$

以上各式中， X 為開發度(%)， P 為降雨量(mm)， Y 為土壤流失量， r 為相關係數。由以上結果可知，開發度增加至 30 % 時，其逕流及土壤沖蝕量有急劇增大之趨勢，此一結果與 Copeland 之研究結果極為接近〔6〕。

又從筆者與同仁謝豪森教授共同主持之計劃研究：「中山高速公路泰山林口區域山坡災害防治計劃」〔7〕之分析結果顯示，該區域之開發度平均為 23.24 %，較原來該地區未規劃前增加 9.07 %。假設未規劃前之逕流係數為 Y ，則經參考前項資料推算結果，規劃後之逕流係數變為原來之 1.545 倍，即逕流係數變為 $1.545 Y$ (≤ 1)，亦即逕流量較未規劃前增加 54.5 %。若根據合理化公式 ($Q_P = CIA$) 推算，對西仕颱風之二日暴雨量 365.1mm (屬 20.5 年頻率) 而言，因集水區面積 A 不變，且假定逕流係數 C 值亦不改變，則降雨強度 I (同為二日者) 相對變為 $365.1 \times 1.545 = 564.08 \text{ mm}$ (反推計算)，乃相當於頻率年為 439.36 年之暴雨。另根據降雨強度一般式： $I = a / (t_e + b)^n$ 加以探討，則由於受開發之影響，集流時間較未開發前為短，即 t_e 值減小，而區域常數 a 、 b 、 n 值不變，則 I 值應相對增大。若此兩種因素同時考慮，則因受雙重影響，其增加之逕流量當不祇 54.5 %。

此外，逕流量之大小與降雨發生時之土壤含水量亦有密切關係。如久旱後之第一場暴雨與相隔未久接連降下之第二場暴雨，對於同一地區，同樣大小之降雨量而言，其逕流量迥然不同。若以段錦浩教授在國科會補助下，於臺中大坑所進行之試驗研究結果為例〔8〕，對於總面積 7.17 公頃，開發度為 7 % 之坡地，前後二場暴雨間隔時間為二日，經調整成為同一降雨量 (112.5 mm) 之後，其逕流係數 C_R 分別為 0.313 及 0.449，即連續之第二場暴雨 (土壤含水量呈飽和狀況者)，其逕流係數較前一場暴雨 (土壤為乾燥時) 提高約 43 %。亦即連續性暴雨，因土壤已呈飽和之情況，其逕流量更為提高，沖蝕量亦將隨之增加，因而更容易造成災害。

綜合以上研究分析結果，將可獲得下列結論：即山坡地之開發乃屬破壞地表平衡之行爲，故必將造成洪峯到達時間之縮短、逕流集中、逕流係數以及逕流量之增大等異常現象，亦因而促使上游地區土壤之大量沖蝕流失，此一結果乃爲使坡地本身及其下游地區造成嚴重災害之原因所在。然却不能因此因噎廢食，禁止開發山坡地；蓋因山坡地之開發（包括社區、道路、工業區、遊樂區、墓園、果園以及礦場等），乃屬經濟發展與解決人口及社會問題之必經階段，難以避免，惟在開發之同時，必須輔以完善之水土保持措施，或依據下列表八所列之水土保持處理準則，並配合嚴整之法令規章，合理而有計劃地開發與利用本島民衆賴以生存之國土資源—山坡地，方爲促進社會整體發展之最佳對策。

表八 坡地在不同開發度下之水土保持處理準則

開發度（%）	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	>30
處理準則	無需處理	需配以簡易處理	需有完善之水土保持處理措施	不宜開發

參考文獻

- (1)陳信雄：“坡地開發與洪災問題之研究”，國科會補助七十一年度防災科技研究計劃報告，民國七十二年八月。
- (2)山口伊佐夫：“治山設計”，1978，日本農林出版。
- (3)何智武、段錦浩：“坡地開發與逕流特性關係之測定與調查研究”，農發會及林務局輔助研究計劃報告(一)、(二)、(三)，分別於民國七十年七月、七十一年七月及七十二年十月完成。
- (4)曾仁宏、段錦浩：“坡地開發與逕流及沖蝕之相關性探討”，中國土木水利工程學會七十一年度年會宣讀論文，民國七十一年十一月。
- (5)曾仁宏：“坡地開發與逕流及沖蝕之相關性探討”，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文（何智武、段錦浩指導），民國七十三年一月。
- (6)Copeland, O. L. (1965): "Land Use and Ecological Factors in Relation to Sediment Yields, In: Proceedings of The Federal Inter-Agency Sedimentation Conference", Agr. Res. Ser. Miscellaneous Pub. No. 970, U.S. Dept. of Agr., Wash., D.C., P.P 72~84。
- (7)何智武、謝豪榮、段錦浩：“中山高速公路泰山林口區域山坡災害防治計劃”，高速公路局委託中興大學水土保持研究所研究計劃報告，民國七十二年十一月。
- (8)段錦浩：“山坡地開發對洪災的影響”，國科會補助七十一年度防災科技研究計劃報告，民國七十二年八月。